中国生态农业学报 2017 年 9 月 第 25 卷 第 9 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Sep. 2017, 25(9): 1371−1380

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170163

聂弯, 于法稳. 农业生态效率研究进展分析[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1371−1380
Nie W, Yu F W. Review of methodology and application of agricultural eco-efficiency[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(9): 1371−1380

农业生态效率研究进展分析

聂　弯[1], 于法稳[2*]

(1. 中国社会科学院研究生院　北京　102488; 2. 中国社会科学院农村发展研究所　北京　100732)

摘　要: 农业生态效率是评价农业可持续发展能力的一个非常重要的指标, 通过农业生态效率的评价, 可以准确评估了解农业生态系统的真实价值, 以实现农业资源的高效率利用, 并减轻农业废弃物所造成的内源性污染, 进而从根本上解决农业生态系统退化和环境污染问题, 为农业的可持续发展奠定基础。对已有文献进行系统梳理后发现, 农业生态效率研究方面存在如下几个方面的问题: 1)概念界定不统一、评价方法趋同; 2)宏观层面对农业生态效率的影响因素研究不足、县域层面的收敛性分析亟待丰富; 3)生态资产再生产、生态农业生产方式、生态农业政策等方面的应用还亟待加强等问题。为此, 剖析了未来为推动我国农业的可持续发展, 农业生态效率研究将会更加关注的如下几个方面: 1)提升农业生态效率的评价方法; 2)加强农业生态效率驱动因素的研究; 3)推进农业生态效率在生态资产再生产、转变农业生产方式、制定农业政策等方面的应用。

关键词: 农业生态效率; 农业生态系统; 农业资源; 环境污染; 可持续发展
中图分类号: F304.7　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1671-3990(2017)09-1371-10

Review of methodology and application of agricultural eco-efficiency

NIE Wan[1], YU Fawen[2*]

(1. Graduate School of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China; 2. Institute of Rural Development, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Agricultural ecological efficiency analysis is vital in evaluating sustainable development of agriculture. It can be used to accurately assess the real value of agricultural ecosystem for the realization of efficient use of agricultural resources and for the alleviation of endogenous pollution caused by agricultural waste. As a result, it can also be used to solve problems concerning the degradation of agricultural ecosystems and the reduction in environmental pollution, and thereby laying a solid foundation for sustainable agricultural development. After a systematic review of the existing literatures on agricultural ecological efficiency, it was found that the three prominent problems which needed thorough research were: 1) the precise definition of agricultural ecological efficiency and consistent evaluation method of agricultural ecological efficiency. 2) A thorough research on the macro-factors with significant impact on agricultural ecological efficiency and detailed analysis of agricultural ecological efficiency at national scale. 3) Extensive researches on important issues such as ecological capital, ecological agriculture and ecological agriculture policy. Thus in order to promote sustainable development of agriculture in China, the following aspects were needed in future research: 1) improvement of the method of evaluation of agricultural ecological efficiency, 2) augmenting factors in the research of agricultural ecological efficiency, and 3) promotion of the application of agricultural ecological efficiency in areas such as ecological capital production, ecological agriculture production and ecological agriculture policy.

* 通讯作者: 于法稳, 主要从事生态经济学领域的研究。E-mail: yufaw@cass.org.cn
聂弯, 主要从事生态经济学领域的研究。E-mail: niewan4466@sina.com
收稿日期: 2017-02-26　接受日期: 2017-06-06
* Corresponding author, E-mail: yufaw@cass.org.cn
Received Feb. 26, 2017; accepted Jun. 6, 2017

Keywords: Agricultural eco-efficiency; Agricultural ecosystem; Agricultural resource; Environmental pollution; Sustainable development

随着人口的快速增长以及消费需求的变化，农业除了发挥其生产功能，为人类提供丰富的食物之外，还日益发挥着提供休闲、旅游和景观价值等多种娱乐的生活功能和生态功能[1]。对中国这样一个发展中国家，农村改革开放 30 多年以来，农业发展取得了举世瞩目的成绩：利用 7%的世界耕地面积，养活了 22%的世界人口[2]。与此同时，由于农业发展长期过度依靠自然资源的利用以及化学投入品，带来了严重的面源污染以及环境破坏。当前，我国农业可持续发展面临着资源与环境的双重约束。有关统计资料表明：2015 年我国陆地面积 947.8 万 km^2，但人均耕地面积仅为 0.982 hm^2，比 2004 年减少了 2%。在快速工业化、城镇化进程中，对优质耕地的占用呈刚性递增态势，从而导致了优质耕地所占比例进一步下降。对农业生产用水资源而言，其短缺性也日益显现出来。有关数据表明，农业用水占全国总用水量的比例从 20 世纪 80 年代初的 85%下降到目前的 65%左右，而且供水保证率下降，特别是优质水源的保证率更低。此外，我国土地荒漠化现象也日益严重，面积已达 267 万 hm^2，且每年还在以 2 460 km^2 的速度扩展[3]；草地退化、沙化和碱化面积约占草地总面积的 1/3，并且每年还在以 200 万 hm^2 的速度增加；生物多样性锐减，已有 15%~20%动植物种类受到威胁。所有这些生态问题都存在于广大农村地区，对农业的可持续发展构成严重威胁。

研究表明，农业面源污染已经逐渐成为我国重要的污染源[4]。第一次全国农业污染普查报告显示，中国农业生产过程中化学需氧量、总氮、总磷的排放量分别为 1 324 万 t、270 万 t、28 万 t，农业污染量已经占到全国总污染量的 33%~50%[5]。根据亚洲开发银行的估计，每年中国农业由于资源和环境破坏造成的直接经济损失占全国 GDP 的 0.1%~1%[6]。随着人民生活水平的提高，家庭恩格尔系数不断下降，一方面消费者对优质安全农产品的需求市场日益强盛，另一方面由于农业生产面临的优质水土资源的短缺，优质安全农产品供给市场不足，从而形成了一种矛盾，而且这种矛盾在短期内有可能进一步加剧。因此，迫切需要实现农业生产的绿色转型，将提高农产品质量作为首要目标。为此，需要对农业生产中的生态效率进行深入研究，据此提出实现农业可持续发展的政策建议。

在生态效率的研究领域，已有较丰富的研究成果[7-9]，具体到农业生态效率研究领域，国内学者主要在两个尺度上进行了研究：一是在国家尺度上，利用国家和省级数据，选取不同评价方法研究农业生态效率；二是在省、市(县)、区尺度上，利用所研究区域的数据研究多维度(如时间和空间维度)的农业生态效率。目前，在国家尺度上的研究仍在进行，而且在研究方法上有所创新，例如采用考虑时间效应的 DEA 动态模型[10]、空间计量方法的应用[11]。在省、市(县)、区尺度上的研究较为丰富，但创新不足，这从已有的研究文献所发表的期刊类别上体现出来[12]。由于我国关于农业生态效率的研究起步较晚，有许多领域及内容需要进行更加深入细致的研究。本文从农业生态效率的概念界定、研究方法等有关内容，对已有文献进行了系统的梳理，在此基础上，对未来农业生态效率研究领域需要解决的关键问题进行了展望。

1 农业生态效率的概念界定及研究特点

1.1 农业生态效率的概念界定

生态效率术语是由 eco-efficiency 翻译过来的，eco-是生态学 ecology 和经济学 economy 的词根，efficiency 表示“效率和效益”，由此可以看出，生态效率术语涵盖了生态和经济两个方面的效率[13]。生态效率的概念最早由德国学者 Schaltegger 和 Sturm[14]于 1990 年首次在学术界提出，指的是增加的价值与增加的环境影响的比值。1992 年，世界可持续发展工商业联合理事会(WBSCD)出版《改变航向：一个关于发展与环境的全球商业观点》一书之后，生态效率的概念才被广泛认识和接受。在该书中，将生态效率定义为：“通过提供满足人类需要和提高生活质量的有价格竞争优势的产品与服务，同时使整个生命周期的生态影响与资源强度逐渐降低到一个至少与地球的估计可承载能力一致的水平来实现，并同时达到环境与社会协调发展的目标”[15]，并且提出应该以生态效率这种全新的、将环境和经济发展相结合的发展理念来应对可持续发展，生态效率的概念才被广泛的认识和接受。随后，世界经济合作发展组织(OECD)、巴斯夫集团(BASF Corporation)、国际金融组织环境投资部(EFG-IFC)、联合国贸易与发展会议(UNCTAD)、澳大利亚环境与遗产部(Australian Government Department of the Envi-

ronment and Heritage)以及加拿大工业部(Industry Canada)等国际组织也陆续对生态效率的概念进行了深入研究, 并且从不同层面对其进行了界定。目前, 在全球范围内, 被广泛接受的定义仍然是世界可持续发展工商业联合理事会提出的生态效率的概念[16]。

农业生态效率是生态效率概念在农业领域中的拓展与应用, 该概念秉承了生态效率的本质内涵, 但目前尚未有明确的定义。不同学者对农业生态效率概念的界定, 往往从自身研究的重点入手, 仅强调其中的某一方面, 因而缺乏普适性。周震峰[17]认为, 农业生态效率以调控农业生产过程中的资源利用为手段, 达到资源耗费和废物污染最小化的目的, 同时满足人类对食物的需求和生活质量的需要, 即基于经济指标、资源投入和环境影响的投入产出比。由此可见, 该定义强调对农业生产中的资源的高效利用, 对农业生产活动的环境影响关注不够。吴小庆等[18]将农业生态效率定义为: 在保证农产品数量和质量的前提下, 尽量减少环境污染和资源消耗, 即提倡一种以“适量、优质、减污、节源”为理念的现代化生态农业发展模式。该定义将农业生态效率看成是一种科学的现代生态农业发展模式, 低估了农业生态效率的价值。陈遵一[19]在对安徽农业生态效率进行评价研究中, 将农业生态效率定义为农产品种植过程中, 用最少的资源和能耗, 生产最多的产品, 并且对环境产生最小的影响, 以实现经济效益和环境效益的双赢。该定义将农业生产局限在种植业, 未涉及其他农业生产活动。陈兴鹏等[20]将农业生态效率定义为“农业生产过程中, 农业生产资料的投入与经济产出以及环境期望产出的关系”。该定义考虑了环境的期望产出, 但忽略了环境的非期望产出。从中可以看出, 不同学者对农业生态效率概念的界定不具有普适性。但从大多数研究来看, 对农业生态效率都没有进行有效界定, 而是将生态效率的定义直接应用于农业领域的研究。基于生态效率是经济效率和环境效率组成的一个综合效率, 结合农业生产的特点, 作者将农业生态效率定义为: 农业生产活动中, 对自然资源的消耗量和对污染物的处理能力保持在农业生态系统可承载能力范围内, 并且用更少的自然资源生产出更多数量和更高质量的农产品或农业服务, 同时对环境以及农产品消费的负面影响最小。

1.2　农业生态效率研究的特点

1.2.1　农业生态效率研究的 3 个切入点

在农业生态效率研究领域, 最初关注的是农业生态效率的评价问题, 这是农业生态效率研究的第 1 个切入点。以农产品的经济价值作为农业生产的经济价值, 以农业生产对生态系统承载力的影响, 包括对自然资源的消耗和对环境排放污染物的影响作为农业生产的资源环境投入价值, 利用数学方法和经济模型, 分析研究单元的农业生态效率, 据此引申出提高农业生态效率的政策含义。

针对农业生态效率评价中出现的低效率问题, 一些学者[21-22]从农业生态系统效率损失结构入手, 将农业生态系统的效率结构划分为农业资源投入、期望经济产出和非期望环境破坏产出, 探索提升农业生态效率的关键问题, 并提出提高农业生态效率的具体措施, 以实现农业经济系统与生态系统之间的协调发展, 这是农业生态效率研究的第 2 个切入点。

由于各地区农业自然资源禀赋、经济发展水平等存在较大差异, 自然存在着农业生态效率的时空差异。因此, 从农业生态效率的时空差异入手, 从时间、空间两个维度上分析农业生态效率, 探索农业生态效率的限制因素, 剖析农业生态效率的内生增长机制和外生提高途径, 这是农业生态效率研究的第 3 个切入点。

与此相对应, 农业生态效率研究需要开展 3 类工作: 一是完善农业生态效率评价方法; 二是完善提高农业生态效率的法律、法规和政策体系; 三是探寻农业生态效率的内生增长机制和外生提高途径。

1.2.2　国内外农业生态效率研究产生背景的差异分析

农业与其生态环境之间的紧密联系, 一般是通过一系列的农业政策实现的, 并依此保护了农业的自然资源和环境[23]。农业生态效率研究的初衷就是评价农业政策的成效, 以确保农业耕作方式对农业生态系统不造成破坏。因此, 发达国家研究农业生态效率, 主要针对自然资源的有限性, 以实现人类福祉最大化以及环境影响的最小化目标, 据此呼吁提高自然资源的利用效率、减少环境污染以及提供优质安全的农产品。中国引入生态效率, 特别是生态效率应用于农业领域的研究历史较短, 因此, 很长一段时间对农业生产的研究多集中在生产率方面, 直至农业资源环境出现的一系列问题对农业可持续发展造成重大影响之后, 农业生态效率才引起了重视[24]。因此, 中国农业生态效率的研究偏重农业环境污染, 针对的是化肥、农药、杀虫剂、除草剂等污染暴露出来的负外部性以及对农业增效、农民增收和农村生态环境造成重大的影响以及政府和政策在应对这种负外部性方面的失灵。这是农业生态效

率研究始点上的第一个差异。

发达国家的学者对农业生态效率的研究，针对的是生态系统承载能力是经济系统发展的基础[25]。学者的判断是农业生态系统的资源供给和对环境污染物的吸纳能力在其可承载能力范围内可以更好地促进农业经济的发展[26-27]。中国学者针对的是现有经济理论没有统筹考虑生态系统的各种平等，主张以生态为基石，服务经济价值最大化，以实现农业经济的可持续发展[28-29]。这是国内外农业生态效率研究始点上第二个差异。

经过多年研究，国内外在这两个研究始点上的差异基本消失了，研究逐渐趋于统一。

2 农业生态效率评价方法及内容

2.1 农业生态效率评价方法

2.1.1 比值法

早期的生态效率评价方法大都采用经济价值与资源环境影响的比值。普遍接受的生态效率比值法的计算公式，是由世界可持续发展工商业联合理事会(WBSCD)提出的:

$$\text{生态效率}=\frac{\text{产品经济价值}}{\text{产品形成的环境影响}} \tag{1}$$

农业生态效率比值法计算的特殊性表现在，农业生产不仅对环境具有负面的影响(如农药残留、土壤板结、土壤肥力丧失)，还具有正面的影响(如吸收二氧化碳、降低噪音、吸收有害气体等)。因此，对于农业生态效率而言，其比值计算公式可以表示为:

$$\text{农业生态效率}=\frac{\text{农产品经济价值}}{\text{农产品形成的环境负效应}-\text{环境正效应}} \tag{2}$$

比值法在一定程度上反映了经济发展对环境造成的影响，但是只考虑了生产的产出端，忽略了投入端，而经济发展对环境影响的根源却恰恰在投入端，因此这种方法逐渐淡出学者的视野，取而代之的是其他一些评价方法。

2.1.2 生命周期评价法

生命周期评价法起源于 20 世纪 60 年代，当时资源消耗和石油危机对社会发展产生了重大影响，而当时的评价局限在少数的环境负荷，因此，研究进展缓慢，直到 20 世纪 90 年代，随着对可持续发展研究的逐步深入，出现了“生命周期评价”方法。国际环境毒物和化学学会以及国际标准组织正式给出了“生命周期评价”的定义：评价产品生产过程(从原料提取、材料制备直至废弃)的整个生命周期内，能源和资源消耗以及废物排放对环境造成的潜在影响，并提出了改善环境性能的建议和措施[11]。最早的定量生命周期评价法是 1990 年瑞士研究人员开发的生态稀缺法[13]，计算公式为:

$$\frac{\text{Ecopoints}}{\text{kg}}=\frac{\text{Emissions}_\text{A}}{\text{Emissions}_\text{T}}\times\frac{1}{\text{Emissions}_\text{T}} \tag{3}$$

式中：下标 A 表示实际环境负荷，T 表示理想环境负荷。

顾程亮等[16]利用生命周期法，实证分析了财政节能环保投入对区域生态效率的影响。生命周期评价法由于边界确定比较困难，数据选择比较复杂，而且研究中主观性较强，可信度常常受到争议。而且，难以进行区域之间的比较。

2.1.3 随机前沿分析法

随机前沿分析是一种参数分析方法，被广泛应用于效率的计算。该方法最初由 Farrell[30]于 1957 年提出。1977 年，Aigner 等[31]、Meeusen 和 Van Den Broeck[32]分别独立提出和阐述该方法。利用随机前沿分析方法，首先要确定初始生产函数，然后计算出实际的产出水平与最大期望产出水平，并将两者进行比较，最后将函数的误差项分离成无效率项和随机误差项两个独立的误差项。该方法充分考虑到了随机误差项对个体效率的作用，因此评估较 DEA 准确。但是，该方法只能解决单一的产出问题，而且，当投入指标之间具有复杂的相关性时，评价结果往往误差较大。基本的随机前沿生产函数的形式为:

$$y_{it}=f(x_{it},t)\times\exp(v_{it},u_{it}) \tag{4}$$

式中：y_{it} 表示 i 在 t 时期的产出，x_{it} 表示 i 在 t 时期投入的生产要素，t 为时间维度，$f(\cdot)$ 是被估的生产函数，v_{it} 是方程的随机误差项，u_{it} 是方程的其他误差项，且取负值。

Lio 等[33]采用随机前沿方法探讨了农业效率与农业生产制度的关系。Wadud 等[34]利用随机前沿方法和 DEA 比较了孟加拉国农户层面的生产效率。

2.1.4 生态足迹分析法

生态足迹分析法于 20 世纪 90 年代初，由加拿大生态学家 Rees[35]提出，后由 Wackernagel 发展完善，是通过比较人类活动对自然的需求量换算成相应的生物生产性土地面积，并将其与自然能够提供给人类的供给量进行比较，依此来判断区域经济发展是否处于生态系统的承载力范围之内。如果人类活动所需要的生物生产性土地面积小于区域能够提供给人类的供给量，则该区域的自然资源处于生态盈余状态；反之，如果人类活动所需要的生物生产性土地面积大于区域能够提供给人类的供给量，说明该区域的自然资源过度利用，处于生态亏缺状

态。生态足迹法由于具有全球可比、简单适用的特点而得到广泛应用。洪名勇等[36]利用生态足迹模型分析了贵州农业可持续发展状况。

但生态足迹法也存在一些理论上的缺陷和实际测算中的不足，如由于缺乏生物资源账户中各产品的实际消费数据，因而采用各产品的生产数据替代造成的误差[37]；账户涵盖不全面，如果缺少对地下资源的估算，可能会低估实际承载力[38]；强调土地的生产性及其数量，缺乏对土地生态功能与质量的关注[39]。

2.1.5 能值分析法

能值分析方法是由美国著名生态学家 Odum[40]于 20 世纪 80 年代提出的，是一种对"自然-经济-社会"复合生态系统进行定量、综合度量的方法。该方法以能值为基准，通过能值转换率把生态经济系统内不同种类、不可比较的能量转换成同一标准的太阳能值来衡量系统内各种能量的能值，综合分析系统内各种生态流(物质流、货币流、信息流等)，定量分析生态经济系统的结构、功能与效益[41]。通过能值分析，可以对某一时段生态系统的自然环境状况、承载力状况、可持续发展状况、能源利用状况等进行评估。凌立文等[42]运用能值分析法，对广东省 67 县域农业经济系统生态效率进行了研究。朱玉林等[43]利用能值法评价了湖南省 2008 年的农业生态效率。

能值分析方法分为如下 5 个步骤：1)收集原始数据，包括研究区域的资源环境与社会经济方面的各种资料数据；2)绘制能值系统图，包括确定系统范围的边界、系统能量的主要输入和输出项目、系统各组分的过程和关系等；3)编制能值分析表，包括原始数据、能值转换率、净能值产出率、环境负载力等；4)构建能值综合结构图，对各系统和各子系统生态流进行集结和综合；5)计算能值指标体系，评价系统的发展。

能值分析法将资源、环境、经济价值纳入计算范畴，弥补了传统经济学方法资源定价困难的缺陷；但是，能值分析法也存在能值转化率的地域性、评价指标过于单一、缺乏复合指标的缺陷。

2.1.6 数据包络分析法

数据包络分析(data envelopment analysis，简称 DEA)是目前评价农业生态效率应用最广泛的方法。该方法在 1978 年由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 创建，针对具有相同类型的多投入、多产出的决策单元，进行相对有效性或效益评价，是一种以相对概率为基础的非参数分析方法[44]。该方法既不强调模型的具体形式，也无需对数据进行无量纲化处理，使用起来非常方便。

刘飞翔等[45]基于传统 DEA 模型，对福建省武平县 17 个乡镇的农业生态效率进行评价。吴小庆等[18]运用基于偏好锥的 DEA 模型对无锡市的农业生态效率进行了评价。王宝义等[46]利用 SBM-Undesirable 模型，对 1993—2013 年中国农业生态效率进行了评价。洪开荣等[47]利用网络 DEA 模型，评价了中国 2005—2013 年 30 个省市区的农业生态效率。

2.1.7 其他评价方法

除上述评价方法之外，对农业生态效率的评价还有基于机会成本的经济核算方法、系统能量流动法等。基于机会成本的经济核算方法，是指评价对象使用单位资本投入要素所获得的资本增加值。系统能量流动法把食物链各个营养级之间实际利用的能量占可利用能量的百分率叫做生态效率。程翠云等[48]利用基于机会成本的经济核算方法，对我国 2003—2010 年的农业生态效率进行评价；卞有生[49]利用系统能量流动法对北京市留民营农业生态工程进行生态效率评价。

综上所述，比值法、生命周期评价法、随机前沿分析法、生态足迹分析法、能值分析法、DEA 等方法在计算农业生态效率方面各有优缺点，必须根据具体的研究对象和研究目的选择合适的评价方法，关键是如何改进评价技术以及优化结构参数，创新农业生态效率的评价，以提升农业生态效率度量的准确度。DEA 在农业生态效率评价中应用越来越广泛的主要原因在于，DEA 能解决多投入、多产出的生态经济系统效率问题，同时避免了主观赋权的争议性。但是，DEA 模型对数据的依赖性较强，不仅需要大量可靠的数据，而且对数据的质量要求也越来越高[50]。

2.2 农业生态效率影响因素的研究

目前，关于农业生态效率影响因素的研究主要从两个层面展开：一方面在微观层面，集中于投入冗余和非期望产出冗余；另一方面在宏观层面，针对农业政策(比如农业生态补贴政策、退耕还林政策)、产业结构调整等。微观层面的研究比较丰富，并且得出的结论大致相同，认为化肥、农药、杀虫剂、农膜等化学投入品冗余和农业污染等非期望产出冗余，是造成农业生态效率损失的主要影响因素。刘志成等[51]研究发现，农业化肥使用过剩、农业用水消耗较大和农业污染严重是导致农业生态效率损失

的主要原因；吴小庆等[18]研究发现，化肥、农药的减量使用有助于农业生态效率的提高；张子龙等[52]研究发现，造成农业生态效率低下的原因在于，资源投入结构不尽合理、投入产出比例失调以及非期望产出的过度冗余；潘丹等[53]研究发现，资源的过度消耗和环境污染物的过量排放是农业生态效率损失的主要原因。

在宏观层面上，研究得出的结果差异较大。Pang 等[54]研究发现，农民人均纯收入、种植结构、农民人均耕地、劳动力文化水平、城乡收入比以及有效灌溉面积对农业生态效率具有显著负向影响，而农业固定资产投资、产业结构和总人口对农业生态效率具有显著正向影响；洪开荣等[47]研究发现，农业生态效率与机械密度、人均农业 GDP 呈正相关关系，与农业市场化程度、受灾率、财政支农力度以及工业化发展水平呈负相关关系；程翠云等[48]研究发现，区域资源环境禀赋条件有助于农业生态效率的提高，但是农资投入和农业政策支持与农业生态效率呈显著负相关关系。

从上面的分析可以看出，农业生态效率驱动因素在微观层面上的创新在于突破从投入冗余和非期望产出冗余出发的常规研究视角，找到影响农业生态效率更为微观、更为具体的影响因素。而农业生态效率驱动因素在宏观层面的研究亟待深入，在宏观变量选择和理论推演上都需要加强研究。

2.3　农业生态效率收敛性的研究

收敛性始于 Ramsey 对区域经济的研究，最初用于测度国家、区域是否存在收敛或发散，之后应用范围逐渐扩展到消费、贸易以及创新等领域[55]。收敛性研究方法有 α 收敛、绝对 β 收敛、条件 β 收敛以及俱乐部收敛[56]。农业生态效率 α 收敛指的是研究单元农业生态效率的离差随时间的推移而趋于下降。通过 α 收敛分析，可以判断研究单元农业生态效率的变化程度。洪开荣等[47]利用 α 收敛检验了我国东部、中部、西部以及东北地区农业生态效率(分为经济、社会和生态系统)的敛散性。

农业生态效率绝对 β 收敛，指的是当各研究单元的农业生态效率达到一致的稳态后，将稳态时的农业生态效率与最初农业生态效率高的研究单元相比较，如果最初农业生态效率低的研究单元的农业生态效率增长速度高于最初农业生态效率高的研究单元的农业生态效率的增长速度，那么，所有研究单元的农业生态效率将趋于最终的稳定。通过绝对 β 收敛研究，可以判断各研究单元的农业生态效率是否有趋于最终一致稳态的可能。农业生态效率条件 β 收敛，指的是各研究单元的农业生态效率收敛到自身的稳定状态。通过条件 β 收敛研究，可以判断各研究单元之间的差异是否会长期存在。Pang 等[54]利用空间固定效应模型对我国农业生态效率进行绝对 β 收敛和条件 β 收敛估计，结果表明，我国农业生态效率既存在绝对 β 收敛，又存在条件 β 收敛。

农业生态效率俱乐部收敛，指的是初始状态相似地区的农业生态效率是否会收敛到一致的稳态。通过俱乐部收敛分析，可以了解相似研究单元农业生态效率的差异性以及内生变化特征。

除了传统的 α 收敛、绝对 β 收敛、条件 β 收敛以及俱乐部收敛，随机性收敛也逐步被引入到农业生态效率收敛性分析中。农业生态效率随机性收敛指的是研究单元实际生态效率发展水平与研究单元的时间序列平均农业生态效率发展水平一致，通过对农业生态效率进行随机收敛性研究，可以预测各研究单元之间的农业生态效率差异是否会在短期内消失。Pang 等[54]的研究结果显示，我国农业生态效率不存在随机性收敛现象，我国农业生态效率的区域差异不会在短时间内消失，而是会长期存在，这一结果与其对中国农业生态效率进行条件 β 收敛检验结果一致。

从上面的分析可以看出，农业生态效率收敛性研究局限在收敛性研究的初始研究领域，即在国家和区域层面开展了研究，但是，针对县域农业、观光农业、种植业、养殖业等国民经济基本单元的农业的收敛性却鲜有研究，亟待丰富。

2.4　农业生态效率应用方面的研究

农业生态效率研究以生态经济学理论为指导，而不是以人的需求为中心的经济学理论为指导，强调在生态环境系统约束下的农业经济可持续发展[57]。农业生态效率研究在生态利用、生态保护、生态建设和生态文明方面的研究有助于“四位一体”落到实处，农业生态效率追求经济系统优化和生态系统优化统一、GDP 持续增长和生态资产持续增长统一、人类安全和生态安全统一、人与人的和谐和人与自然和谐的统一，而不再拘泥于短期效益和近期效益的最大化以及利润和 GDP 的最大化。

农业生态效率的研究要求加快转变新的农业生产方式。未来社会的再生产不仅包括产品再生产、资本再生产、劳动力再生产，还包括生态资产再生产。而且，生态资产再生产将会是未来农业乃至社会再生产的关键内容，将会加速农业与其他产业融

合的速度和效益[58]。农业生态效率的研究要求设计适合生态文明建设要求的经济核算体系，要求从法律法规、考核评估机制、激励与约束机制入手推进生态建设，使生态文明建设走向制度化、法制化。

农业生态效率的研究有助于优化农业生产格局，形成节约资源和保护生态环境的农业生产方式，落实严守耕地、水资源等保护红线的生态农业政策，增强生态农产品供给能力。加快完成水、大气、土壤等污染防治和综合治理，增强农民敬畏自然、顺应自然、保护自然的生态文明意识，营造爱护农业生态环境的新风尚。

3　结论与展望

本文对近年来国内外有关农业生态效率的研究进行了述评和分析。通过系统梳理发现，农业生态效率的相关研究已经取得了一定的成果，对其研究经历了概念探讨、研究切入点改变、国内外研究产生的背景差异、丰富评价方法、影响因素分析、收敛性分析以及实践应用的演进等过程。可以发现，农业生态效率研究存在概念界定不统一、评价方法趋同、宏观层面的影响因素研究不足、县域层面的收敛性分析亟待丰富、生态资产再生产、生态农业生产方式、生态农业政策等方面的应用亟待加强等问题。

通过上述的综合分析，未来有关农业生态效率研究需要在如下几个方面进行深入探讨。一是研究视角上需要创新。由于农业的多功能性日趋显现，再加上农业的绿色转型发展，迫切需要在农业生态效率评价方面，从新的视角进行研究。二是研究方法上需要创新。农业生态效率的评价为实现农业可持续发展提供基础。对农业生态效率进行精确评估，迫切需要进行评价方法的创新，通过改进评价技术以及优化结构参数，提升农业生态效率度量的准确度。三是研究时空维度上需要丰富。未来对农业生态效率的评价，在空间上应加以丰富，在进行宏观层面上评价的同时，应丰富微观层面上的评价；在时间上应考虑长期、中期和短期农业生态效率的评价。四是研究指标体系上需要完善。以往研究中，所选择的指标往往存在不全面问题，或只考虑了生产的产出端，忽略了投入端，或评价指标过于单一、缺乏复合指标等，影响了评价结果的准确性。因此，在未来的评价中，应对农业生态效率评价的指标体系进行完善。五是推进农业生态效率在生态资产再生产、转变农业发展方式、制定农业政策等应用方面的研究。农业生态效率的研究最终用于指导实践才能变成生产力，这也是未来农业生态效率研究的重要方向。

参考文献　References

[1] 徐建国，张勋．农业生产率进步、劳动力转移与工农业联动发展[J]．管理世界，2016, (7): 76–87
Xu J G, Zhang X. Agricultural productivity improvement, labor transformation and agricultural and industrial linkage development[J]. Management World, 2016, (7): 76–87

[2] 张正斌，徐萍．中国水资源和粮食安全问题探讨[J]．中国生态农业学报，2008, 16(5): 1305–1310
Zhang Z B, Xu P. Water and food security in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(5): 1305–1310

[3] 杨维西．我国荒漠化走势前瞻[J]．绿色中国，2004, (5): 6–8
Yang W X. The extrapolation to further trend of the desertification in China[J]. Forestry Economy, 2004, (5): 6–8

[4] 崔晓，张屹山．中国农业环境效率与环境全要素生产率分析[J]．中国农村经济，2014, (8): 4–16
Cui X, Zhang Y S. An analysis between agricultural environmental efficiency and environmental total factor productivity in China[J]. Chinese Rural Economy, 2014, (8): 4–16

[5] 李静，李红，谢丽君．中国农业污染减排潜力、减排效率与影响因素[J]．农业技术经济，2012, (6): 118–126
Li J, Li H, Xie L J. The potential ability of reduction and its efficiency as well as its influencing factors of Chinese agricultural pollution[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2012, (6): 118–126

[6] 朱兆良，孙波，杨林章，等．我国农业面源污染的控制政策和措施[J]．科技导报，2005, 23(4): 47–51
Zhu Z L, Sun B, Yang L Z, et al. Policy and countermeasures to control non-point pollution of agriculture in China[J]. Science & Technology Review, 2005, 23(4): 47–51

[7] Robaina-Alves M, Moutinho V, Macedo P. A new frontier approach to model the eco-efficiency in European countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 103: 562–573

[8] Soteriades A D, Faverdin P, Moreau S, et al. An approach to holistically assess (dairy) farm eco-efficiency by combining life cycle analysis with data envelopment analysis models and methodologies[J]. Animal, 2016, 10(11): 1899–1910

[9] Casarejos F, Frota M N, Rocha J E, et al. Corporate sustainability strategies: A case study in Brazil focused on high consumers of electricity[J]. Sustainability, 2016, 8(8): 791

[10] 林锦彬，刘飞翔，郑金贵．我国农业生态效率时空格局差序化分析——基于 DEA-ESDA 模型[J]．江苏农业科学，2017, 45(4): 302–306
Lin J B, Liu F X, Zheng J G. The analysis of the spatial and temporal pattern of agricultural ecological efficiency in China[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(4): 302–306

[11] 潘兴侠，何宜庆，胡晓峰．区域生态效率评价及其空间计量分析[J]．长江流域资源与环境，2013, 22(5): 640–647
Pan X X, He Y Q, Hu X F. Evaluation and spatial econometric analysis on regional ecological efficiency[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(5): 640–647

[12] 郑家喜, 杨东. 基于 DEA-Malmquist 分析法的农业生态效率测算研究——以长江中游四省份为例[J]. 湖北社会科学, 2016, (9): 65–71
Zheng J X, Yang D. An analysis of agricultural ecological efficiency based on DEA-Malmquist method — A case study of four provinces of Yangtze River[J]. Hubei Social Sciences, 2016, (9): 65–71
[13] 吕彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3898–3906
Lü B, Yang J X. Review of methodology and application of eco-efficiency[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3898–3906
[14] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische rationalität: Ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten[J]. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273–290
[15] DeSimone L D, Popoff F, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Eco-Efficiency: The Business Link to Sustainable Development[M]. Cambridge: MIT Press, 1997
[16] 顾程亮, 李宗尧, 成祥东. 财政节能环保投入对区域生态效率影响的实证检验[J]. 统计与决策, 2016, (19): 109–113
Gu C L, Li Z Y, Cheng X D. Empirical study of the impact of the investment of energy conservation and environmental protection on regional ecological efficiency[J]. Statistics and Decision, 2016, (19): 109–113
[17] 周震峰. 关于开展农业生态效率研究的思考[J]. 农业科技管理, 2007, 26(6): 9–11
Zhou Z F. Considerations on carrying out researches of agricultural eco-efficiency[J]. Management of Agricultural Science and Technology, 2007, 26(6): 9–11
[18] 吴小庆, 王亚平, 何丽梅, 等. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 714–719
Wu X Q, Wang Y P, He L M, et al. Agricultural eco-efficiency evaluation based on AHP and DEA model — A case study of Wuxi City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(6): 714–719
[19] 陈遵一. 安徽农业生态效率评价——基于 DEA 方法的实证分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(17): 9439–9440
Chen Z Y. Evaluation on Anhui agricultural eco-efficiency — Based on DEA method[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(17): 9439–9440
[20] 陈兴鹏, 庞家幸, 王惠榆. 基于生态县评价指标的生态环境可持续发展研究——以甘肃省泾川县为例[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2013, 49(4): 110–114
Chen X P, Pang J X, Wang H Y. Based on ecological county evaluation index of ecological environment sustainable development research — A case study on Jingchuan County, Gansu Province[J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2013, 49(4): 110–114
[21] 田伟, 杨璐嘉, 姜静. 低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析——基于非期望产出的SBM模型[J]. 中国农村观察, 2014, (5): 59–71
Tian W, Yang L J, Jiang J. The measurement and analysis of China's agricultural efficiency in a low-carbon perspective — Based on the non-expected SBM model[J]. China Rural Survey, 2014, (5): 59–71
[22] 吴贤荣, 张俊飚, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究——基于 DEA-Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129–138
Wu X R, Zhang J B, Tian Y, et al. Provincial agricultural carbon emissions in China: Calculation, performance change and influencing factors[J]. Resources Science, 2014, 36(1): 129–138
[23] Latacz-Lohmann U, Hodge I. European agri-environmental policy for the 21st century[J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2003, 47(1): 123–139
[24] 杨俊, 陈怡. 基于环境因素的中国农业生产率增长研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(6): 153–157
Yang J, Chen Y. Empirical study on China's agricultural production growth under the binding of environment[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(6): 153–157
[25] Ball V E, Bureau J C, Butault J P, et al. Levels of farm sector productivity: An international comparison[J]. Journal of Productivity Analysis, 2001, 15(1): 5–29
[26] 赫尔曼·E·戴利, 乔舒亚·法利. 生态经济学: 原理和应用[M]. 金志农, 陈美球, 蔡海生, 译. 第 2 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2014
Herman E D, Joshua F. Ecological Economics: Principles and Applications[M]. Jin Z N, Chen M Q, Cai H S, trans. 2nd ed. Beijing: China Renmin University Press, 2014
[27] 李文华, 刘某承, 闵庆文. 中国生态农业的发展与展望[J]. 资源科学, 2010, 32(6): 1015–1021
Li W H, Liu M C, Min Q W. Progress and perspectives of China's ecological agriculture[J]. Resources Science, 2010, 32(6): 1015–1021
[28] 沈满洪. 生态经济学[M]. 第 2 版. 北京: 中国环境出版社, 2016
Shen M H. Ecological Economics[M]. 2nd ed. Beijing: China Environment Press, 2016
[29] 郑德凤, 臧正, 孙才志. 改进的生态系统服务价值模型及其在生态经济评价中的应用[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 584–593
Zheng D F, Zang Z, Sun C Z. An improved ecosystem service value model and application in ecological economic evaluation[J]. Resources Science, 2014, 36(3): 584–593
[30] Farrell M J. The Measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 1957, 120(3): 253–290
[31] Aigner D J, Lovell C A K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. Journal of Econometrics, 1977, 6(1): 21–37
[32] Meeusen W, Van Den Broeck J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error[J]. International Economic Review, 1977, 18(2): 435–444

[33] Lio M C, Hu J L. Governance and agricultural production efficiency: A cross-country aggregate frontier analysis[J]. Journal of Agricultural Economics, 2009, 60(1): 40–61
[34] Wadud A, White B. Farm household efficiency in Bangladesh: A comparison of stochastic frontier and DEA methods[J]. Applied Economics, 2000, 32(13): 1665–1673
[35] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 120–130
[36] 洪名勇, 全文选. 基于 NPP 生态足迹模型的贵州农业可持续发展[J]. 生态经济, 2012, (1): 120–124
Hong M Y, Quan W X. Agricultural sustainable development for Guizhou Province and opening up: Based on NPP ecological footprint model[J]. Ecological Economy, 2012, (1): 120–124
[37] Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability[J]. Environmental Impact Assessment Review, 1996, 16(4/6): 223–248
[38] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375–390
[39] 周涛, 王云鹏, 龚健周, 等. 生态足迹的模型修正与方法改进[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4592–4603
Zhou T, Wang Y P, Gong J Z, et al. Ecological footprint model modification and method improvement[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4592–4603
[40] Odum H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996: 20–50, 57–58, 85–86
[41] Odum H T. Self-organization, transformity, and information[J]. Science, 1983, 242(4882): 1132–1139
[42] 凌立文, 陈建国, 周文智, 等. 广东省 67 县域农业经济系统生态效率研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(22): 168–174
Ling L W, Chen J G, Zhou W Z, et al. Research on eco-efficiency of 67 county agricultural economic systems in Guangdong Province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(22): 168–174
[43] 朱玉林, 周杰, 李莎, 等. 基于能值理论的湖南农业生态经济系统生态效率分析[J]. 湖南科技大学学报: 社会科学版, 2011, 14(6): 86–89
Zhu Y L, Zhou J, Li S, et al. On eco-efficiency of the agricultural eco-economic system in Hunan based the energy theory[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology: Social Science Edition, 2011, 14(6): 86–89
[44] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988
Wei Q L. Evaluate the Relative Effectiveness of DEA Method[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1988
[45] 刘飞翔, 钟平英, 张文明. 我国山区县农业生态效率综合评价——以福建省武平县为例[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2015, 15(3): 94–99
Liu F X, Zhong P Y, Zhang W M. Comprehensive evaluation on ecological efficiency of mountainous counties in China[J]. Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition, 2015, 15(3): 94–99
[46] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 11–19
Wang B Y, Zhang W G. A research of agricultural eco-efficiency measure in China and space-time differences[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(6): 11–19
[47] 洪开荣, 陈诚, 丰超, 等. 农业生态效率的时空差异及影响因素[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2016, 15(2): 31–41
Hong K R, Chen C, Feng C, et al. The spatial temporal differences of agricultural eco-efficiency and its influential factors[J]. Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition, 2016, 15(2): 31–41
[48] 程翠云, 任景明, 王如松. 我国农业生态效率的时空差异[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 142–148
Cheng C Y, Ren J M, Wang R S. Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 142–148
[49] 卞有生. 农业生态工程中生态效率的计算与分析[J]. 农村生态环境, 1999, 15(1): 1–4
Bian Y S. Analysis and calculation of ecological efficiency in agro-ecological engineering[J]. Rural Eco-Environment, 1999, 15(1): 1–4
[50] 买亚宗, 孙福丽, 石磊, 等. 基于 DEA 的中国工业水资源利用效率评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 42–47
Mai Y Z, Sun F L, Shi L, et al. Evaluation of China's industrial water efficiency based on DEA model[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(11): 42–47
[51] 刘志成, 张晨成. 湖南省农业生态效率评价研究——基于 SBM-undesirable 模型与 CCR 模型的对比分析[J]. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2015, 9(6): 32–36
Liu Z C, Zhang C C. Evaluation of agricultural eco efficiency based on the non SBM model — Taking Hunan Province as an example[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology: Social Sciences, 2015, 9(6): 32–36
[52] 张子龙, 鹿晨昱, 陈兴鹏, 等. 陇东黄土高原农业生态效率的时空演变分析——以庆阳市为例[J]. 地理科学, 2014, 34(4): 472–478
Zhang Z L, Lu C Y, Chen X P, et al. Spatio-temporal Evolution of agricultural eco-efficiency in loess plateau of East Gansu Province: A case study of Qingyang City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(4): 472–478
[53] 潘丹, 应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3837–3845
Pan D, Ying R Y. Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3837–3845
[54] Pang J X, Chen X P, Zhang Z L, et al. Measuring eco-efficiency of agriculture in China[J]. Sustainability, 2016, 8(4): 398

[55] 李静, 蒋长流. 农业劳动生产率区域差异与农业用能强度收敛性[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 17–25
Li J, Jiang C L. Regional difference of agricultural labor productivity and the convergence of agricultural energy consumption intensity[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(11): 17–25
[56] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国区域创新效率的收敛性研究: 基于空间经济学视角[J]. 管理工程学报, 2017, 31(1): 71–78
Ma D L, Chen Z C, Wang L. Research on convergence of regional innovation efficiency in China: Based on the perspective of spatial econometric[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2017, 31(1): 71–78
[57] 陈源泉, 高旺盛. 基于生态经济学理论与方法的生态补偿量化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(4): 165–170
Chen Y Q, Gao W S. How to determine the payment amount of ecological compensation: Based on the theories and methods of ecological economics[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2007, 27(4): 165–170
[58] 李周. 生态经济学[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2015
Li Z. Ecological Economics[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2015